

Розробка рецептури вогнетривких футерувань та теплоізоляції печей електродного виробництва

Разработка рецептуры огнеупорной футеровки и теплоизоляции печей электродного производства

The development of the formula of fire-resistant fettling and heat insulation of the furnaces in the electrode production

1. Номер державної реєстрації теми - 0113U002303, НТУУ «КПІ» - 2642-п.

2. Науковий керівник - д.т.н., ст. наук. співр. Карвацький А.Я., Карвацкий А.Я., Karvatskii Anton Ya.

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.)

Розроблена нова рецептура вуглецевих сипучих матеріалів для футерування і теплоізоляції високотемпературного обладнання електродної промисловості. Обґрунтовано необхідність заміни багатокомпонентної теплоізоляційної шихти на однокомпонентну на основі кам'яновугільного коксу. На підставі теоретичних та експериментальних досліджень виявлено кількісний вплив матеріального і гранулометричного складу, вологості матеріалу, умов монтажу футерування і теплоізоляції на такі властивості матеріалів, як теплопровідність, електропровідність в інтервалі температур від 300 К до 1300 К, що дало змогу сформулювати основні вимоги до фізичних властивостей футерувальних і теплоізоляційних матеріалів електродного виробництва. Отримано експериментальні дані з температурної залежності коефіцієнта теплопровідності сумішей сирого та графітованого коксового дріб'язку з різними відсотковими співвідношеннями та гранулометричним складом. Одержано залежності коефіцієнта теплопровідності та питомого електричного опору сирого коксу різного фракційного складу при тиску до 54 кПа та температурі до 1300 К. Визначено кореляційні співвідношення між теплопровідністю і електропровідністю в залежності від температури та фракційного складу коксу. За допомогою числового аналізу теплоелектричного стану печей Ачесона з використанням шихти різного фракційного та структурного складу розроблено нову рецептуру вуглецевих сипучих матеріалів для футерування і теплоізоляції. Проаналізовано вплив розроблених матеріалів на викиди оксиду вуглецю, на якість електродної продукції, продуктивність та питомої витрати електроенергії графітувальних печей. Проведено перевірку розробленої рецептури теплоізоляційної шихти із застосуванням експериментальних даних та даних числового моделювання, в результаті якої встановлено збільшення максимуму мінімальної температури ядра на 3 % та зменшення максимальної неоднорідності температурного поля по заготовках за час кампанії більш ніж у 2 рази. Результати роботи впроваджено у виробництво.

(рос.)

Разработана новая рецептура углеродистых сыпучих материалов для футеровки и теплоизоляции высокотемпературного оборудования электродной промышленности. Обоснована необходимость замены многокомпонентной теплоизоляционной шихты на однокомпонентную на основе каменноугольного кокса. На основе теоретических и экспериментальных исследований выявлено количественное влияние материального и гранулометрического состава, влажности материала, условий монтажа футеровки и теплоизоляции на такие свойства материалов, как теплопроводность, электропроводность в интервале температур от 300 К до 1300 К, что дало возможность сформулировать основные требования к физическим свойствам футеровочных и теплоизоляционных материалов электродного производства. Получены экспериментальные данные по температурной зависимости коэффициента теплопроводности смесей сырого и графитированной коксовой мелочи с разными процентными соотношениями и гранулометрическим составом. Получены зависимости коэффициента теплопроводности и удельного электрического сопротивления сырого кокса различного фракционного состава при давлении до 54 кПа и температуре до 1300 К. Определены корреляционные

соотношения между теплопроводностью и электропроводностью в зависимости от температуры и фракционного состава кокса. С помощью численного анализа теплоэлектрического состояния печей Ачесона с использованием шихты разного фракционного и структурного состава разработано новую рецептуру углеродистых сыпучих материалов для футеровки и теплоизоляции. Проанализировано влияние разработанных материалов на выбросы оксида углерода, на качество электродной продукции, производительность и удельный расход электроэнергии графитировочных печей. Выполнено проверку разработанной рецептуры теплоизоляционной шихты с использованием экспериментальных данных и данных численного моделирования, в результате которой установлено увеличение максимума минимальной температуры зерна на 3 % и уменьшение максимальной неоднородности температурного поля по заготовкам во время кампании более чем в 2 раза. Результаты работы внедрены в производство.

(англ.)

The new formula of carbon granular materials for fettling and thermal insulation of high-temperature equipment in the electrode production has been developed. The necessity to change the multicomponent thermal insulation charge on the carbone coke basis monocomponent charge was proved. Having done theoretical and experimental research, the quantitative influence of the material and granulometric composition, material humidity, mount fettling and thermal insulation conditions on such material properties as thermal conductivity, electrical conductivity under the temperatures from 300 K to 1300 K was found out. That enabled to formulate the basic requirements to the physical properties of fettling and thermal insulation materials in the electrode production. The experimental data concerning temperature dependence between thermal conductivity factor of the mixtures of raw and graphitized coke breakages with various percentage ratios and granulometric composition were obtained. The dependence factor between thermal conductivity and electrical resistance of raw coke of different composition under pressure till 54 kPa and temperature till 1300 K was determined. The correlation ratios between thermal and electrical conductivity depending on the temperature and the coke composition were found out. With the help of numerical analysis of thermal and electrical state of Acheson's furnaces using charges of different fractional and structural composition the new formula of carbon granular material fettling and thermal insulation was developed. The influence of the developed materials on carbon oxide, quality of electrode products, efficiency and electrical and energy losses of graphitization furnaces was analysed. The developed formula of thermal insulation charge was checked using the experimental and digital modeling data. As a result, the increase of the maximum of minimal core temperature by 3 % and the decrease of maximum nonuniformity of the temperature field on the electrode products during the process more than 2 times as much were determined. The results of the work have been introduced into the industry.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

- Установка для вимірювання питомого електричного опору вуглецевих матеріалів при високих температурах: Пат. на корисну модель 91145 України, кл. МПК G01R 27/02 (2006.01). / Г.М. Васильченко, А.Я. Карвацький, Т.В. Чирка, А.О. Маловацький; Заявник і патентовласник НТУУ «КПІ». — № у 2013 15538; Заявл. 30.12.2013; Опубл. 25.06.2014, Бюл. № 12. — 2 с.;
- Пат. на корисну модель 93166 України, кл. МПК G01R 27/02 (2006.01). Установка для вимірювання питомого електричного опору вуглецевих матеріалів при високих температурах / Г.М. Васильченко, Т.В. Чирка, Т.В. Лазарев, А.О. Маловацький; заявник і патентовласник НТУУ «КПІ». — № у 2014 02290; заявл. 06.03.2014; опубл. 25.09.2014, Бюл. № 18. — 3 с.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Розробки НДР за своїм науково-технічним рівнем, зокрема, за рівнем питомої витрати електроенергії та показниках якості кінцевого продукту, відповідають світовим виробникам графітованої продукції: SGL GROUP – The Carbon Company – провідний світовий виробник електродної продукції, використовує у технологічному циклі печі

Ачесона і Кастнера; Elkem Carbon Division – провідний світовий виробник графітованого коксу в електрокальцинаторах.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Застосування розробок НДР в промисловості має вагомі техніко-економічні показники, які полягають у наступному:

- у зменшенні максимальної неоднорідності температурного поля по заготовках за час кампанії печі графітування Ачесона більш ніж у 2 рази;
- у зменшенні питомих витрат електроенергії на 5 %;
- у зменшенні викидів монооксиду вуглецю більше ніж на 20 % при використанні однокомпонентної теплоізоляційної шихти порівняно з багатокомпонентною.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Підприємства електродної та металургійної промисловості – ПАТ «Укрграфіт», МК «Запоріжсталь», ПАТ Електрометалургійний завод «Днепрспецсталь» та ін.

8. Стан готовності розробки.

Розроблена нова рецептура футерувань і теплоізоляції з покращеними властивостями, що забезпечує заощадження енергетичних і матеріальних ресурсів та зменшення викидів шкідливих речовин у довкілля, яка пройшла експериментальну перевірку в умовах виробництва на ПАТ «Укрграфіт». Зокрема, методики розрахунку для розробки високотемпературної теплоізоляції для печей графітування, кореляційні залежності між теплопровідністю і електропровідністю у вигляді їх добутку від температури та фракційного складу для досліджуваного коксу, ресурсоенергозберігаюча однокомпонентна теплоізоляційна шихта на основі суміші сирого та графітованого коксового дріб'язку у співвідношенні 50/50 % та фракцією 0–2 мм вже пройшли промислову апробацію і тому можуть бути впроваджені на інших підприємствах електродної промисловості.

9. Існуючі результати впровадження.

Основні теоретичні положення роботи, що пов'язані з числовим моделюванням, викладені у монографії: «Математичне моделювання та експериментальні дослідження складного теплообміну при рості кристалів». За матеріалами роботи захищено кандидатську дисертацію на тему: «Теплопровідність та електропровідність сипучих вуглецевих матеріалів». Видано навчальні посібники з грифом НАН України та грифом ВНЗ на теми: «Моделювання енергозберігаючих регламентів промислового обладнання» і «Механіка суцільних середовищ – 1. Механіка суцільних середовищ в інженерних розрахунках». Результати роботи впроваджено у виробництво на ПАТ «Укрграфіт» м. Запоріжжя. Предметом впровадження є методики розрахунку для розробки високотемпературної теплоізоляції для печей графітування та запропонована рецептура теплоізоляційної шихти. Результати НДР у вигляді технічних рішень також можуть застосовуватись на підприємствах металургійної промисловості – МК «Запоріжсталь», ПАТ Електрометалургійний завод «Днепрспецсталь» та ін.

10. Назва організації, телефон, E-mail

НТУУ "КПІ", інженерно-хімічний факультет, науково-дослідний центр «Ресурсозберігаючі технології» (НДЦ «РТ»), 406-83-09, admin@rst.kiev.ua

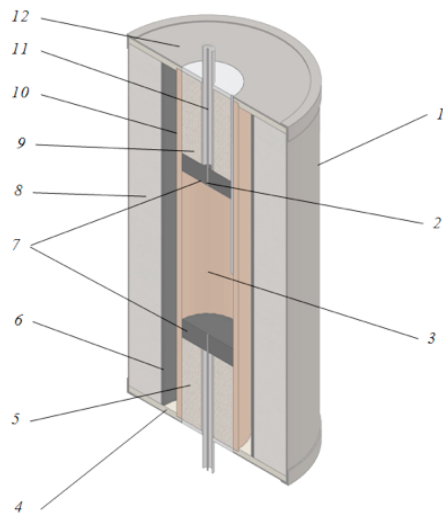


Схема експериментальної установки для вимірювання питомого електричного опору сипучих вуглецевих матеріалів: 1 – обичайка кожуха; 2 – термопара; 3 – вимірювальна комірка; 4 – дно кожуха; 5 – торцеві плити; 6 – фоновий нагрівник; 7 – графітові електроди; 8 – радіальна теплоізоляція; 9 – торцева теплоізоляція; 10 – керамічна трубка; 11 – провідник підведення струму та знімання електричного потенціалу; 12 – кришка кожуха

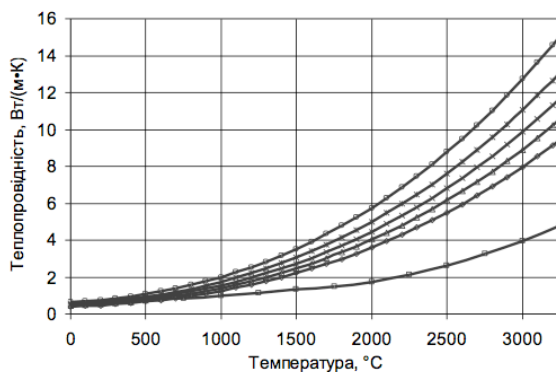


a

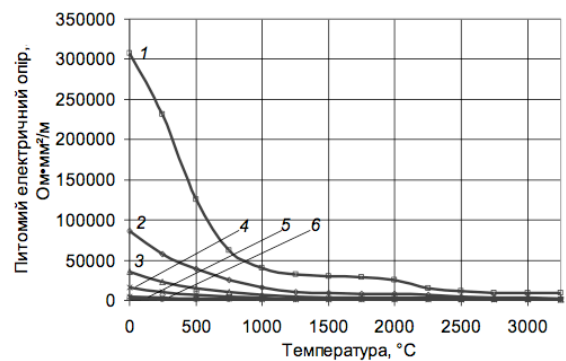


б

Експериментальні установки для вимірювання теплопровідності (*a*) і питомого електричного опору (*б*) сипучих вуглецевих матеріалів



a



б

Графіки залежності теплопровідності (*a*) і питомого електричного опору (*б*) однокомпонентної шихти (кокс 0–10 мм) і синтетичної шихти від температури:

- 1 – багатокомпонентна шихта; 2 – сирий/графітований кокс – 100/0;
3 – сирий/графітований кокс – 75/25; 4 – сирий/графітований кокс – 50/50;
5 – сирий/графітований кокс – 25/75; 6 – сирий/графітований кокс – 0/100

11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. Математичне моделювання та експериментальні дослідження складного теплообміну при рості кристалів [Текст] : моногр. / В.І. Дешко, А.Я. Карвацький, Ю.В. Лохманець, О.М. Кудін, О.В. Колесніков // Серія: Стан та перспективи розвитку функціональних матеріалів для науки і техніки / Під ред. Гриньова Б.В. – Харків : НАНУ Інститут сцинтиляційних матеріалів, 2012. – 248 с.

2. Карвацький А.Я. Моделювання енергозберігаючих регламентів промислового обладнання : навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 234 с. Гриф надано Міністерством освіти і науки України (Лист № 1/11-2299 від 11.02.2014 р.)
3. Механіка суцільних середовищ – 1. Механіка суцільних середовищ в інженерних розрахунках: Текст лекцій для студентів спеціальностей 7.05050315, 8.05050315 – «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» / Уклад.: О.С. Сахаров, А. Я. Карвацький – К. : НТУУ «КПІ», 2013. – 231 с. (Свідectво про електронну публікацію ІХФ № X 10/13-88).
4. Thermal conductivity of carbon-based materials / S.V. Kutuzov, G.N. Vasil'chenko, T.V. Chirka, E.N. Panov // Refractories and Industrial Ceramics. — 2013. — Vol. 54, No. 1. — P. 39—43.
5. Making the Heat-Insulating Charge of Acheson Graphitization Furnaces More Efficient / S.V. Kutuzov, V.V. Buryak, V.V. Derkach, E.N. Panov, A.Ya. Karvatskii, G.N. Vasil'chenko, S.V. Leleka, T.V. Chirka, T.V. Lazarev // Refractories and Industrial Ceramics. — 2014. — Vol. 55, No. 1. — P. 15—16.
6. Voznyk V. T. Investigation of the Cooling of Two-Layer Corrugated Polymeric Pipes / V. T. Voznyk, A. Ya. Karvatskii, I. O. Mikulenok // J. of Engineering Physics and Thermophysics.— 2013. — Vol. 86, Issue 3. — P. 505—510.
7. Mathematical Model of Solid-Fuel Gasification in a Fluidized Bed / E. N. Panov, A. Ya. Karvatskii, T. B. Shilovich, T. B. Lazarev, A. S. Moroz // Chemical and Petroleum Engineering. — 2014. — Vol. 50, Nos. 5–6. — P. 312—322.
8. Теплопроводность сырого и графитированного кокса / С. В. Кутузов, Е. Н. Панов, Г. Н. Васильченко, С. В. Лелека, Т. В. Чирка // Огнеупоры и техническая керамика. — 2013. — № 3. — С. 29—33.
9. Карвацкий А. Я. Оценка метода дискретного элемента для прогнозирования поведения сыпучих сред на примере нефтяного кокса / А. Я. Карвацкий, Т. В. Лазарев // Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2014. — № 3. — С. 32—36.
10. Оценка теплопроводности по величине удельного электрического сопротивления для сыпучих углеродных материалов / Е.Н. Панов, Г.Н. Васильченко, Т.В. Чирка, Т.В. Лазарев // Metallургическая и горнорудная промышленность. — 2013. — №5. — С. 5—9.
11. Повышение эффективности теплоизоляционной шихты печей графитации Ачесона / С.В. Кутузов, В.В. Буряк, В.В. Деркач, Е.Н. Панов, А.Я. Карвацкий, Г.Н. Васильченко, С.В. Лелека, Т.В. Чирка, Т.В. Лазарев // Новые огнеупоры. — 2014. — № 2. — С. 17—18.
12. Дослідження теплопровідності та питомого електричного опору кам'яновугільного коксу та їхній вплив на температурні поля в печі графітування Ачесона / Т.В. Чирка, Г.М. Васильченко, А.Я. Карвацький, С.В. Лелека, С.М. Константинов // Промышленная теплотехника. — 2013. — Том 35, № 7. — С. 45 — 53.